

Impulso e quantità di moto



www.lepla.eu



Obiettivo

In questo esperimento si vuole confrontare l'impulso su un carrello con la variazione della sua quantità di moto. Il moto del carrello viene studiato con un sonar durante la collisione con un sensore di forza. Il sensore di forza è connesso, tramite un CBL o un LabPro, a una calcolatrice grafica, il sonar è connesso a un'altra calcolatrice grafica. I dati raccolti dai due sensori vengono registrati nelle due calcolatrici grafiche e possono essere analizzati sia con una calcolatrice che con un computer.

Materiali:

Vernier Student Force Sensor
CBL o LabPro
CBR e due calcolatrici
TI-83
Carrello

Contenuti

Apparato Sperimentale
e Acquisizione Dati (TI83) e Dati Campione
Analisi Dati (TI83)
Analisi Completa
Analisi Dati (Excel)

Apparato Sperimentale e Acquisizione Dati (TI83)

Prima di dar corso all'esperimento assicurati di avere caricato il programma IMPULSE in una calcolatrice TI83 e FALL e CLEAN in un'altra. Se non li hai li puoi scaricare dal sito LEPLA

Connetti il sensore di forza al canale CH 1 di CBL. Collega il CBL alla calcolatrice grafica che contiene il programma IMPULSE. Collega CBR all'altra calcolatrice.



La parte anteriore del carrello deve essere equipaggiata con una protezione per la collisione, per esempio gomma spugnosa. La parte posteriore del carrello deve avere un buon riflettore per rinviare l'eco al CBR. Una parte del coperchio di una scatola di carta da stampante può andare bene.

Per l'esperimento conviene usare un tavolo lungo circa un metro e mezzo. Il sensore di forza deve essere montato saldamente per esempio su un lato del tavolo e la sua altezza aggiustata in modo che la collisione avvenga come si desidera. Metti il CBR dietro il carrello, circa mezzo metro dalla posizione di partenza del carrello e a circa un metro dal sensore di forza.

Avvia il programma IMPULSE. Non succederà niente fino a quando non avviene una collisione, infatti i dati vengono pre-memorizzati cosicché il grafico forza-tempo completo appare sullo schermo della calcolatrice al termine dell'esperimento. Adesso sei pronto ad effettuare l'esperimento. Avvia il programma FALL sull'altra calcolatrice e spingi immediatamente il carrello verso il sensore di forza.

Quando l'esperimento è finito entrambi gli schermi delle calcolatrici mostreranno dei grafici. Su una l'asse delle y mostra la forza (in newton) che agisce sul sensore di forza e sull'asse delle x il tempo in secondi. I dati della forza sono immagazzinati nella lista L2 e i tempi nella lista L1. L'altra calcolatrice mostra, per il carrello, la distanza in funzione del tempo. Le liste da L1 a L3 di questa calcolatrice contengono i dati del tempo, della distanza e della velocità relativi al carrello.

Se non sei in grado di effettuare l'esperimento c'è un file preparato perché tu possa studiare l'esperimento e analizzare dei dati preventivamente raccolti. Le opzioni sono mostrate qui sotto.

Puoi scaricare dal sito LEPLA o dal CDROM i dati sulla tua TI83 o TI83Plus. Scarica il file complessivo IMPULSE di cinque elenchi con dati sperimentali oppure scarica separatamente le cinque liste L1, L2, L3, L4 e L5.

I dati sono organizzati come segue: i dati del Moto con il tempo nella lista L1, la distanza in L2 e la velocità in L3. L'informazione dall'altra calcolatrice è stata spostata alla stessa calcolatrice come dato del movimento ed è immagazzinata in L4 e L5. Il tempo è in L4 e la forza in L5. La massa del carrello nel nostro esperimento era di 1,060 kg.

Sul sito o con il CDROM puoi vedere un filmato che mostra l'esperimento.

Analisi Dati (TI83)

Analisi 1: Discussione dei dati della distanza

Studia il grafico e cerca di figurarti che cosa avviene durante il moto nei differenti momenti. Spiega le differenti pendenze. Che cosa avviene nella parte alta del grafico?

Come si può vedere il grafico non è del tutto lineare. Che cosa significa? Sai spiegarne il perché?

Usa un paio di punti, un paio da ogni lato della cresta per calcolare la velocità del carrello nelle vicinanze della cresta. Quanto vale la variazione di velocità nell'urto?

Calcola il cambiamento della quantità di moto del carrello.

Analisi 2: Discussione dei dati della velocità

Il passaggio successivo è di mettere in grafico la velocità (L3) in funzione del tempo (L1).

Fai delle osservazioni riguardo al grafico. Confronta tutte le osservazioni fatte nella precedente sezione con le nuove. Trovi accordo fra di esse?

Valuta il cambiamento della velocità durante la collisione e calcola ancora una volta il cambiamento della quantità di moto.

Confronta le velocità immediatamente prima e dopo la collisione. Calcola le energie cinetiche del carrello immediatamente prima e dopo la collisione. C'è una perdita di energia da parte del carrello? Spiega!

Analisi 3: Discussione dei dati della forza

Ora guarda alla forza che agisce sul sensore di forza in funzione del tempo. Appare come te l'eri aspettata? E' possibile fare qualche considerazione circa la forza che agisce sul carrello?

L'impulso su un corpo durante un intervallo di tempo Δt è definito come $I = F * \Delta t$, dove F è la forza che agisce durante questo tempo. Calcola gli impulsi sul carrello durante tutti gli intervalli.

Questi calcoli possono essere fatti per esempio nella lista L3. Per sommare tutti questi contributi per ottenere l'impulso sul carrello durante la collisione, puoi usare SUM L3. Il comando SUM si trova sotto LIST (2:nd STAT) MATH.

Analisi 4: Confronta i risultati dei dati del moto e i dati della forza

In analisi 1 e 2 è stato calcolato il cambiamento della quantità di moto del carrello. In analisi 3 viene calcolato l'impulso applicato al sensore di forza.

Ora confronta il cambiamento della quantità di moto del carrello con l'impulso sul carrello. Quale conclusione ne trai?

Quando hai finito il tuo lavoro, **ma non prima**, confronta la tua conclusione con l'analisi completata.

Alcune altre cose su cui riflettere

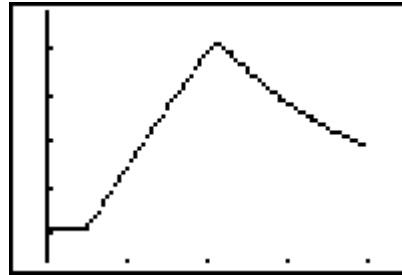
Quando è stato calcolato l'impulso, facemmo una integrazione numerica per calcolare l'area fra la curva della forza e l'asse orizzontale. Che cosa sarebbe successo se la spugna di gomma fosse stata più rigida o fosse stata tolta?

Spiega perché è importante che il carrello abbia un "airbag" come protezione dalla collisione.

Analisi completa

Analisi svolta 1

Il grafico distanza-tempo mostra che il carrello all'inizio è fermo per un breve periodo di tempo. Poi è accelerato, nella direzione di allontanarsi dal CBR, durante un breve intervallo fra 0,4 s e 0,6 s, quando viene spinto. Poi il grafico è quasi lineare fino al momento 2,0 s dove la protezione di spugna del carrello viene in contatto con il sensore di forza. Questo contatto dura circa 0,2 s. Dopo il carrello si muove nell'altra direzione, indietro verso il CBR. Anche questa parte del grafico è quasi lineare.



Se il grafico distanza-tempo è lineare, significa che il moto è uniforme, cioè la velocità è costante. Se guardi meglio il grafico, entrambe le "parti quasi lineari" hanno pendenze che cambiano. In entrambi i casi vi sono cambiamenti di velocità. In entrambi la velocità del carrello diminuisce. La ragione sta nell'attrito e nella resistenza dell'aria. Un'altra probabile ragione è che la superficie del tavolo non sia perfettamente orizzontale. Se questo è il caso, più tardi si può vedere di più al riguardo.

L1	L2	L3	1
1.9567	1.1643	.46587	
1.9967	1.1829	.46411	
2.0366	1.2013	.43319	
2.0765	1.2175	.27331	
2.1164	1.2232	-.0018	
2.1564	1.2174	-.2337	
2.1963	1.2045	-.3231	
L1(52) = 2.07651			

Qui è mostrato uno stralcio della tabella, tempo e distanza. Utilizzando il dato evidenziato e il primo dato mostrato si ha la possibilità di calcolare la velocità prima della collisione. Se ripetiamo questo con due punti dopo la collisione, otteniamo la velocità dopo la collisione.

Prima

$$v_1 = (1.2175 - 1.1643) / (2.0765 - 1.9567) \text{ m/s} \approx 0.444 \text{ m/s.}$$

Dopo

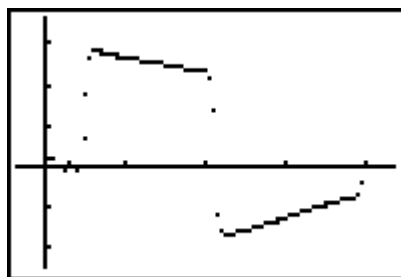
$$v_2 = (1.165 - 1.204) / (2.316 - 2.124) \text{ m/s} \approx -0.334 \text{ m/s.}$$

Il cambiamento della quantità di moto è

$$p = m(v_2 - v_1) = 1.060 \cdot (-0.334 - 0.445) \text{ kgm/s} \approx -0.83 \text{ kgm/s}$$

Analisi svolta 2

Il grafico velocità-tempo appare così:



Individuiamo il breve intervallo di tempo fra 0,4 s e 0,6 s, quando il carrello è spinto via. Dopo vediamo il moto verso il sensore di forza. E' evidentemente presente qualche forza di attrito, fra 0,46 s e 2,0 s, che imprime al carrello una riduzione di velocità da 0,57 m/s a 0,46 m/s, che è una accelerazione media di $(0.46-0.57)/(2.0-0.6) \text{ m/s}^2 \approx -0.079 \text{ m/s}^2$.

Poi il carrello collide invertendo la direzione del moto. Ancora una volta possiamo vedere che il moto all'indietro verso il CBR non è uniforme. Il grafico è proprio lineare con una pendenza che dà al carrello una diminuzione di velocità. Anche questa volta possiamo calcolare l'accelerazione.

$$a = (-0.15 - (-0.34))/(3.87 - 2.28) \text{ m/s}^2 \approx 0.12 \text{ m/s}^2.$$

Se confrontiamo i valori assoluti delle due accelerazioni, vediamo che l'ultima è considerevolmente più grande. Quindi la forza che riduce la velocità è più grande e sembra come se ci sia una piccola inclinazione della superficie del tavolo. In caso contrario i due valori assoluti avrebbero dovuto essere circa uguali. Perché il carrello non rotola lungo la superficie quando viene lasciato solo in riposo?

Se prendiamo le velocità prima e dopo la collisione, 0,464 m/s e - 0,339 m/s rispettivamente, possiamo calcolare il cambiamento della quantità di moto in

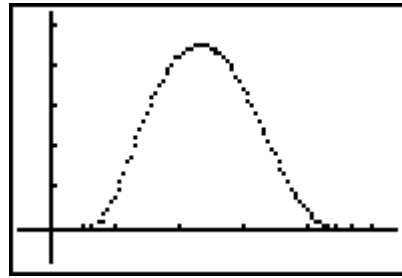
$$m(v_2 - v_1) = 1.060 \cdot (-0.339 - 0.464) \text{ kgm/s} \approx -0.85 \text{ kgm/s}.$$

Questo valore è in buon accordo con il precedente, 0,83 kgm/s.

Se confrontiamo le velocità prima, 0,464 m/s, e dopo, 0,339 m/s, vediamo che c'è una perdita di energia cinetica. Quanta? Quale proporzione dell'iniziale energia cinetica va persa?

La perdita di energia cinetica è convertita in calore nel sensore di forza e nella spugna di gomma.

Analisi svolta 3



Il grafico della forza in funzione del tempo mostra un picco dove la forza cresce fino a un massimo di 12 N e poi diminuisce di nuovo a zero. L'intera collisione dura meno di 0,2 s.

Per calcolare l'impulso durante un intervallo di tempo, si moltiplica la forza per la lunghezza dell'intervallo, nel nostro caso 0.0025 s. Utilizza la lista L3 per farlo. Posiziona il cursore in cima alla lista L3 e introduci la formula $L3 = 0,0025 * L2$ e premi ENTER. Alla fine somma tutti i valori della lista L3. Questo si può fare andando allo schermo base (QUIT (2:nd MODE)) e il risultato è 0,898 N. Quindi l'impulso sul carrello è - 0.898 Ns \approx 0.90 Ns.

Analisi svolta 4

Dall'analisi 1 e 2 il cambiamento della quantità di moto era - 0,83 kgm/s e 0,85 kgm/s rispettivamente. Questi valori sono in buon accordo con il risultato che abbiamo acquisito dall'analisi 3, dove la quantità di moto trovata era 0,90 N.

Poiché le unità sembrano differenti, diamoci uno sguardo.

$$1 \text{ Ns} = 1 (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) \cdot \text{s} = 1 \text{ kgm/s}.$$

Il primo passaggio deriva dal fatto che forza = massa per accelerazione.

Così la nostra conclusione è che l'impulso sul carrello uguaglia il suo cambiamento di quantità di moto. Una derivazione teorica conferma questo risultato sperimentale.

Analisi Dati (Excel)

I dati stati trasferiti su un foglio elettronico Excel usando il cavo Graph Link. Sul sito LEPLA o dal CDROM puoi prelevare il documento excel con i dati.

Apri il documento. I dati dal CBR sono nelle colonne da A a C. I dati del tempo (unità s) sono in colonna A, la distanza in B e la velocità in C. I dati dal sensore sono in colonna D, tempo in secondi, ed E, forza in newton. La massa del carrello è 1,060 kg.

Metti in grafico la distanza in funzione del tempo in un grafico a dispersione. Se hai bisogno di aiuto per questo, guarda sul sito o sul CDROM ["Come faccio un grafico a dispersione in Excel ?"](#) dove viene fatto un grafico a dispersione con un altro insieme di dati.

Analisi 1: Discussione sui dati della distanza

Studia il grafico e cerca di figurarti che cosa succede durante il moto ai differenti momenti. Spiega le differenti pendenze. Che cosa succede nelle parti alte del grafico?

Come si può vedere dal grafico, non è del tutto lineare. Puoi trovare una spiegazione per questo fatto?

Usa coppie di punti, una coppia da ogni lato della cima, per calcolare la velocità del carrello vicino al colmo. Quanto è grande la variazione di velocità?

Calcola il cambiamento della quantità di moto del carrello.

Analisi 2: Discussione dei dati della velocità

Il successivo passaggio è di mettere in grafico la velocità in funzione del tempo. Se hai bisogno di aiuto, potrai averlo consultando il sito o il CDROM .

Fai delle osservazioni riguardo al grafico. Confronta tutte le osservazioni fatte nella precedente sezione con le nuove. Trovi concordanza fra di loro ? Determina il cambiamento di velocità durante la collisione e calcola ancora una volta il cambiamento della quantità di moto.

Confronta le velocità immediatamente prima e dopo la collisione. Calcola le energie cinetiche del carrello immediatamente prima e dopo la collisione. C'è una perdita di energia da parte del carrello? Spiega !

Analisi 3: Discussione sui dati della forza

Ora metti in grafico la forza che agisce sul sensore di forza in funzione del tempo. Appare come te lo eri aspettato? E' possibile fare qualche affermazione circa la forza che agisce sul carrello?

L'impulso su un corpo durante l'intervallo di tempo Δt è definito come $I = F \cdot \Delta t$, dove F è la forza che agisce durante questo intervallo di tempo. Calcola gli impulsi sul carrello durante tutti gli intervalli di tempo. Questi calcoli si possono fare per esempio sulla colonna F del foglio elettronico. Ora somma tutti questi contributi per ottenere l'impulso sul carrello durante la collisione.

Analisi 4: Confronto dei risultati dei dati del moto e dei dati della forza

In analisi 1 e 2 è stato calcolato il cambiamento della quantità di moto del carrello. In analisi 3 è stato calcolato l'impulso sul sensore di forza.

Ora confronta il cambiamento della quantità di moto del carrello con l'impulso sul carrello. Quale è la tua conclusione? Quando hai finito il tuo lavoro, **ma non prima** , puoi confrontare la tua conclusione con l' analisi completa.

Qualcosa in più su cui riflettere

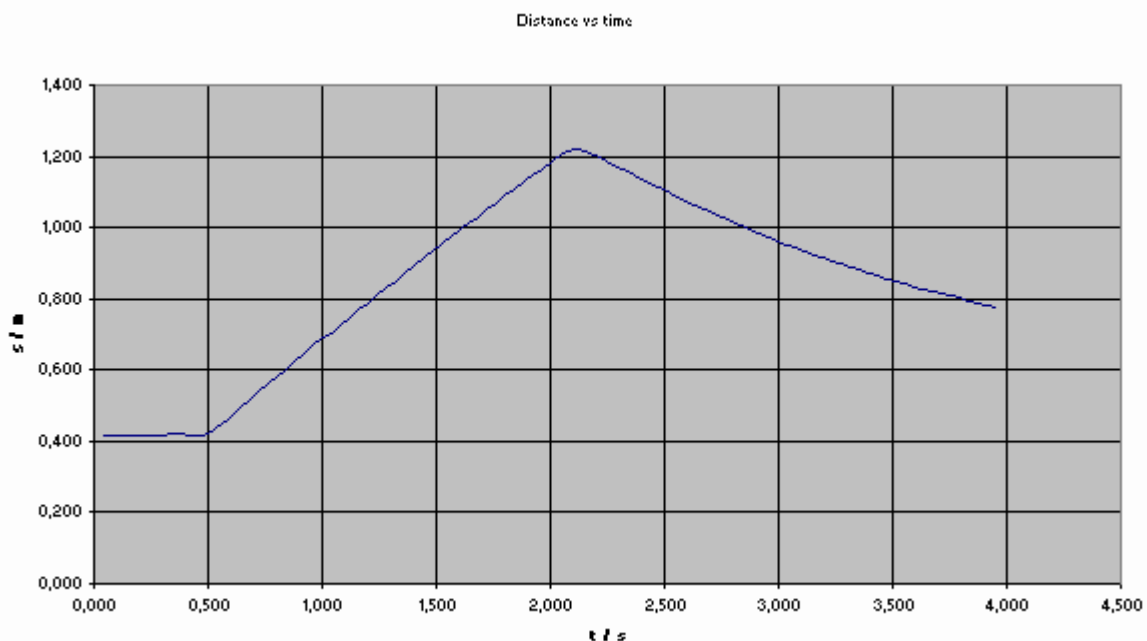
Quando veniva calcolato l'impulso, abbiamo fatto una integrazione numerica per calcolare l'area fra la curva della forza e l'asse orizzontale. Che cosa sarebbe successo se la spugna di gomma fosse stata più rigida o perfino tolta?

Spiega perché è importante che il carrello abbia degli airbag come protezione nella collisione.

Analisi Dati Completa (Excel)

Analisi completa 1

Il grafico distanza-tempo mostra che il carrello all'inizio è fermo per un breve periodo di tempo. Poi, in allontanamento dal CBR, esso viene accelerato per un breve intervallo di tempo fra 0,4 s e 0,6 s, quando viene spinto. In seguito il grafico è quasi lineare fino al tempo 2,0 dove la protezione di spugna di gomma del carrello viene in contatto con il sensore di forza. Questo contatto dura circa 0,2 s. Dopo il carrello si muove nell'altra direzione, indietro, verso il CBR. Anche questa parte del grafico è quasi lineare.



Se un grafico distanza-tempo è lineare, vuol dire che il moto è uniforme e quindi la velocità è costante. Se guardi meglio al grafico, entrambe le "parti quasi lineari" hanno pendenze che cambiano. In entrambi i casi ci sono dei cambiamenti della velocità. In entrambe la velocità del carrello diminuisce. Le cause sono l'attrito e la resistenza dell'aria. Un'altra probabile causa è che la superficie del tavolo non sia perfettamente orizzontale. Se questo è il caso, si può vedere di più al riguardo più avanti.

1,957	1,164
1,997	1,183
2,037	1,201
2,077	1,218
2,116	1,223
2,156	1,217
2,196	1,204
2,236	1,192
2,276	1,178
2,316	1,165

Qui è mostrato uno stralcio della tabella tempo - distanza. Utilizzando i dati evidenziati è possibile calcolare la velocità prima (primi due punti) e dopo la collisione (gli altri due punti).

Prima

$$v_1 = (1.218 - 1.164) / (2.077 - 1.957) \text{ m/s} \gg 0.445 \text{ m/s.}$$

Dopo

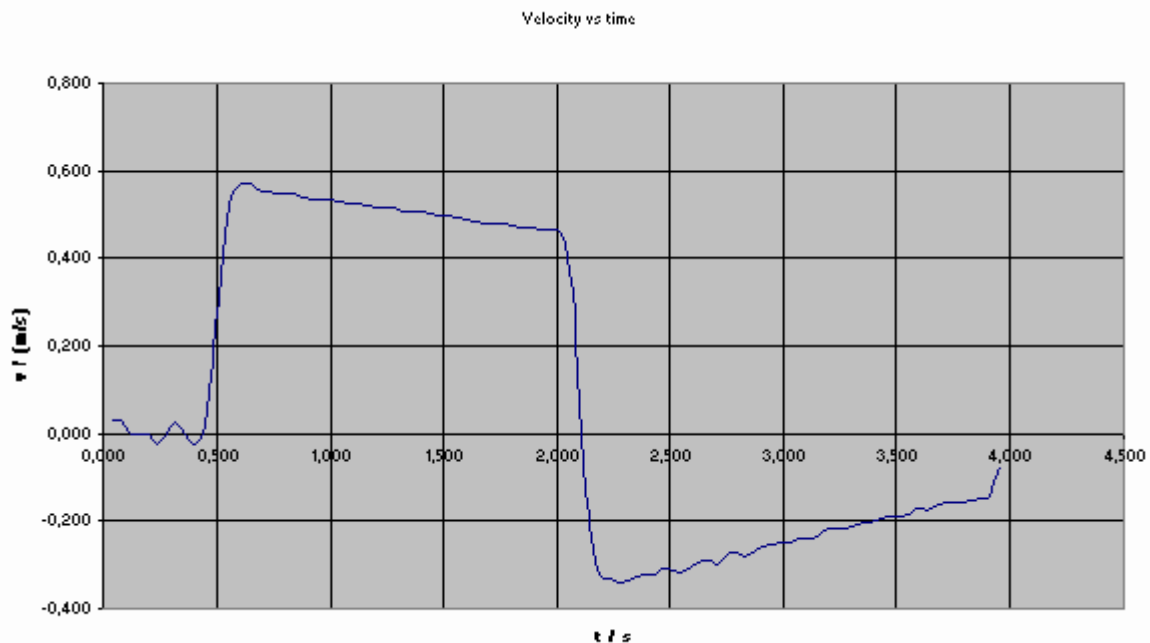
$$v_2 = (1.165 - 1.204) / (2.316 - 1.214) \text{ m/s} \gg -0.334 \text{ m/s.}$$

Il cambiamento della quantità di moto è

$$p = m (v_2 - v_1) = 1.060 \cdot (-0.334 - 0.445) \text{ kgm/s} \gg -0.83 \text{ kgm/s}$$

Analisi completa 2

Il grafico velocità-tempo appare così:



Riconosciamo il breve intervallo di tempo fra 0,4 s e 0,6 s, quando il carrello è spinto via. Poi vediamo il moto verso il sensore di forza. E' evidente che fra 0,6 s e 2,0 s è presente qualche forza di attrito che provoca una riduzione della velocità del carrello da 0,57 m/s a 0,46 m/s.

Che è una accelerazione media di

$$a = (0.46 - 0.57) / (2.0 - 0.6) \text{ m/s}^2 \gg -0.079 \text{ m/s}^2$$

Poi il carrello collide invertendo la direzione del moto. Una volta ancora possiamo vedere che il moto all'indietro verso il CBR non è uniforme. Il grafico è lineare con una pendenza che mostra una velocità decrescente. Ancora una volta possiamo calcolare l'accelerazione

$$a = (-0.15 - (-0.34)) / (3.87 - 2.28) \text{ m/s}^2 \gg 0.12 \text{ m/s}^2$$

Se confrontiamo i valori assoluti delle due accelerazioni, vediamo che l'ultima è considerevolmente più grande. Quindi la forza che riduce la velocità è più grande e sembra che ci sia una piccola inclinazione della superficie del tavolo. In caso contrario i due valori avrebbero dovuto essere approssimativamente uguali. Ma allora perché il carrello non rotola sulla superficie quando viene lasciato solo in riposo?

Se prendiamo le velocità prima e dopo la collisione, 0,464 m/s e -0,339 m/s rispettivamente, possiamo calcolare il cambiamento della quantità di moto in

$$p = m (v_2 - v_1) = 1.060 \cdot (-0.339 - 0.464) \text{ kgm/s} \approx -0.85 \text{ kgm/s}$$

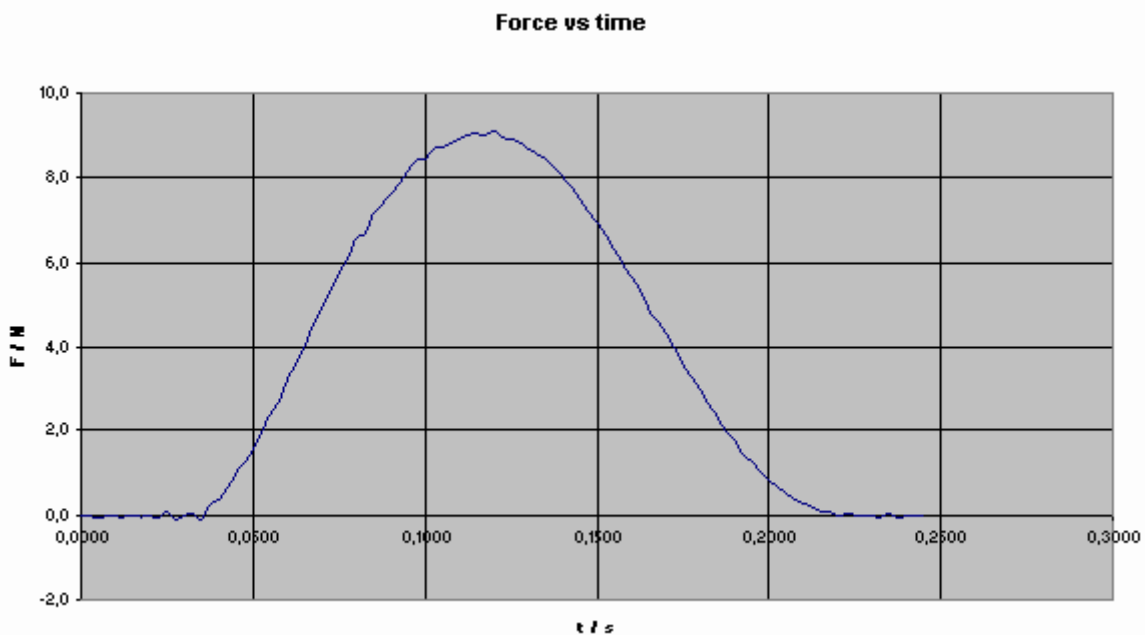
Questo valore è in buon accordo con quello previsto, 0,83 kgm/s.

Se confrontiamo le velocità prima, 0,464 m/s, e dopo, 0,339 m/s, vediamo che c'è stata una perdita di energia cinetica. Di quanto? Quale proporzione dell' energia cinetica iniziale si è persa?

La perdita di energia cinetica è convertita in calore nel sensore di forza e nella spugna di gomma.

Analisi completa 3

Il grafico della forza in funzione del tempo mostra un picco dove la forza raggiunge un massimo di 12 N e poi diminuisce a zero di nuovo. L'intera collisione dura un poco meno di 0,2 s.



Per calcolare l'impulso durante un intervallo di tempo, semplicemente si moltiplica la forza per la durata dell'intervallo, nel nostro caso 0,0025 s. Usa la colonna F del foglio elettronico e comincia in cella F3. Scrivi la formula = E3*0,0025 e premi ENTER. Ora copia questa formula giù per tutta la colonna per calcolare tutti i contributi all'impulso totale. Alla fine somma tutti questi valori. Il risultato è 0,898 N. Quindi l'impulso sul carrello è di -0,898 N ~ 0.90 N.

Analisi completa 4

Dalle analisi 1 e 2 i cambiamenti della quantità di moto sono -0,83 kgm/s e 0,85 kgm/s rispettivamente. Questi sono in buon accordo con il risultato che abbiamo ottenuto con l'analisi 3, dove la quantità di moto calcolata è 0,90 Ns.

Poiché le unità sembrano differenti, facciamo una analisi dimensionale.

$$1 \text{ Ns} = 1 (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) \cdot \text{s} = 1 \text{ kgm/s}.$$

Il primo passaggio deriva dal fatto che forza = massa per accelerazione.

Così la nostra conclusione è che l'impulso sul carrello eguaglia il suo cambiamento di quantità di moto. Una derivazione teorica conferma questo risultato sperimentale.